

Opinnäytetyö (AMK)

Konetekniikka

Koneautomaatio

2015

Hannu Kaskinen

ROBOTTISOLUN AUTOMATISOINTI



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Hannu Kaskinen

ROBOTTISOLUN AUTOMATISOINTI

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli automatisoida Koneteknologiakeskus Turku Oy:n tiloissa oleva tuotantosolu Koneteknologiakeskuksen vuosijuhlaan 15.4.2015 mennessä. Tuotantosolun sorvilla oli jo aikaisemmin valmistettu kappaleita, mutta robottia ei ollut käytetty, vaan kappaleita oli vaihdettu käsin.

Opinnäytetyön ensimmäinen vaihe oli suunnitella robotin työkierto pääpiirteittäin. Tämän jälkeen päätettiin, että tässä tapauksessa tuotantosolulla valmistettaisiin rc-auton vanteita. Seuraavaksi oli suunniteltava, mitä laitteita ja niiden ominaisuuksia työkierron toteuttaminen vaatisi. Tässä kohtaa todettiin, että robotille tarvittaisiin uudet tarttujan leuat ja aihiolavalle uusi matriisi. Työkiertoon toteutettiin seuraavat vaiheet: ohjelman alustus, aihoiden haku, sorville vienti ja haku, ulkohalkaisijan mittausta sekä valmiin kappaleen vienti lavalle. Ohjelmassa päätettiin käyttää robotin softfloat-toimintoa, jonka ansiosta robotilla voi ajaa pienellä voimalla kappaleita päin ilman, että robotti menee vikaan. Alun perin suunniteltiin myös FMS-järjestelmän käyttämistä osana tuotantosolua, jotta tuotantosolu olisi ollut täysin automaattinen. FMS-järjestelmässä oli kuitenkin vika, jonka selvittäminen ei ollut tässä tapauksessa mahdollista. Tämän vuoksi raaka-aihiot lisättiin käsin ja valmiit kappaleet otettiin lavalta käsin.

Opinnäytetyön tavoite saavutettiin siten, että Koneteknologiakeskuksen vuosijuhlissa voitiin demonstroida työkierroltaan täysin automatisoitua tuotantosolua, toisin sanoen kappaleen valmistamisen tuotantoprosessi oli täysin automaattinen. Raakakappaleen ja tuotannon jälkeisen logistiikan automatisointi jäi FMS-järjestelmän puuttumisen vuoksi kuitenkin vielä toteuttamatta.

ASIASANAT:

Koneteknologiakeskus, Robotti, Tuotantosolu, Ohjelmointi, Automatisointi

Hannu Kaskinen

AUTOMATISATION OF ROBOT CELL

The goal of this thesis was to automate production cell located at Koneteknologiakeskus Oy in city of Turku before annual celebration of Koneteknologiakeskus. Some pieces were already manufactured with the production cell, but never with the help of the robot. Pieces have had to be moved by hand.

First phase of the thesis was to design the main points of work rotation for the robot. After that it was decided that rc-car rims are going to be manufactured with this production cell. Next had to be designed which devices and features are going to be needed to execute the work rotation. It was discovered that new gripper claws for the robot had to be manufactured. Also new matrix for the pallet of blank pieces were needed. For the work rotation following phases were executed: forming the program, picking up the blank pieces, taking the blank pieces to lathe, measuring the outer diameter of the piece and taking the manufactured piece to the pallet. It was decided to use softfloat function, which allowed the robot to move to the piece with a little bit of force without going to failure mode. At first it was also designed using FMS system as part of production cell to make the cell fully automatic. However there was a flaw with the FMS system and in this case it was not possible to fix it. Therefore blank pieces and manufactured pieces had to be added by hand on and off the pallet.

The goal of the thesis was achieved as it was possible to demonstrate, what comes to work rotation, fully automated system at the annual celebration. Logistics of the blank piece and manufactured piece had to be handled by hand because of the fault in FMS system.

KEYWORDS:

Koneteknologiakeskus, Robot, Production, Cell, Programming, Automatisat

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	6
1.1 Projektin tavoite	6
1.2 Koneteknologiakeskus Turku Oy	6
2 TUOTANTOSOLU	8
2.1 Robotti	8
2.1.1 Robottien kehittyminen	8
2.1.2 Erilaiset robottityypit	11
2.1.3 Robotin tekniset tiedot	15
2.2 Sorvi	16
2.3 Jyrsin	16
2.4 Keyence-mittalaite	16
2.5 Solun turvallisuus	18
3 TYÖSELOSTUS	19
3.1 Alustavat toimenpiteet	19
3.2 Ohjelma	22
3.2.1 Ohjelman alustus	22
3.2.2 Kappaleiden haku	22
3.2.3 Sorville vienti ja sorvilta haku	25
3.2.4 Ulkohalkaisijan mittaus	28
3.2.5 Valmiin kappaleen vienti lavalle	28
3.3 Robotin tarttujan leukojen suunnittelu ja valmistus	29
4 YHTEENVETO	31
LÄHTEET	32

LIITTEET

Liite 1. Kappaleen vienti sorville -ohjelma.
Liite 2. Lavaus-ohjelma.

KUVAT

Kuva 1. Tuotantosolu.	8
Kuva 2. Teollisuusrobotit Suomessa (Helsingin Sanomat 2015).	9
Kuva 3. Kiinan robottimäärä (Helsingin Sanomat 2015).	10
Kuva 4. Robottityypit (IFR 2015).	11
Kuva 5. Portaalirobotti (cartesian) (Tamiro 2015).	12
Kuva 6. Scara-robotti	13
Kuva 7. Kiertyvänivelinen robotti (articulated)	14
Kuva 8. Rinnakkaisrakenteinen robotti (parallel)	14
Kuva 2. Lineaarikuljetin	15
Kuva 10. Keyence-mittalaite	17
Kuva 9. Softfloat-profiili	21
Kuva 10. Kappaleiden hakuohjelma	24
Kuva 12. Robotti sorvilla	27
Kuva 15. Paineenalennusventtiili	30

TAULUKOT

Taulukko 1. Keyence LS-7030 tekniset tiedot	17
---------------------------------------------	----

1 JOHDANTO

1.1 Projektin tavoite

Projektin tavoitteena oli rakentaa Koneteknologiakeskus Turku Oy:n käyttöön demonstraatioympäristö tuotantosoluun, johon kuuluivat Daewoo Puma MX2500 ST -monitoimisorvi ja Deckel Maho DMC 60 T 5-akselinen työstökeskus. Käytännön tavoitteeksi otettiin rc-auton vanteiden valmistaminen miehittämättömänä. Projektin jälkeen solua on tarkoitus käyttää erilaisten asiakastöiden työstämiseen. Koneteknologiakeskuksella sovittiin projektin aikataulusta ja jaettiin vastuualueet projektiin osallistuvien kesken.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli prosessin automatisointi eli käytännössä prosessissa käytettävän robotin ohjelmointi ja kappaleen siirtäminen FMS-järjestelmän kautta Deckel-työstökeskukselle. Koneteknologiakeskuksen työntekijöiden vastuulla oli kappaleen työstäminen ja soluun liittyvät mekaaniset työt. Projektin sovittiin valmistuvan Koneteknologiakeskuksen 10-vuotisjuhlaan eli 15.4.2015 mennessä.

1.2 Koneteknologiakeskus Turku Oy

Koneteknologiakeskus Turku Oy on vuonna 2005 perustettu yritys, joka keskittyy teknologian kouluttamiseen ja kehittämiseen yhteistyössä yritysten sekä opilaitosten kanssa. Koneteknologiakeskus tarjoaa ajanmukaisen oppimis- ja kehittämisympäristön sekä osaamista ja hyvät puitteet työharjoittelulle, ammatilliselle erikoistumiselle sekä eri toimijoiden väliselle yhteistyölle. Yrityksille Koneteknologiakeskus tarjoaa uuden teknologian käyttöönottoon liittyviä koulutuspalveluita. Se tarjoaa yrityksille myös valmistuspalveluita, minkä ansiosta Koneteknologiakeskuksen nykyvaatimukset täyttäviä laitteita voidaan hyödyntää tarkoituksenmukaisesti. Koneteknologiakeskuksella työskentelee tällä hetkellä kaksikymmentä henkilöä. (Reunanen 2011, 21.)

Koneteknologiakeskus toteuttaa Turun kaupungin osaamis-, yrittäjyys- ja elinkeino-ohjelmaa toimimalla linkkinä meri- ja metalliteollisuuden yritysten ja oppilaitosten välillä sekä edistämällä aloilla tarvittavan osaamisen kehittämistä muuttuvassa toimintaympäristössä. Koneteknologiakeskuksen pääomistajat ovat Turun kaupunki, Turun aikuiskoulutuskeskus sekä Varsinais-Suomen Teknologiateollisuus ry. Näiden lisäksi yhtiön osakkaina on lähes kahdeksankymmentä yritystä joko suoraan tai Varsinais-Suomen Teknologiateollisuus ry:n kautta. (Reunanen 2011, 21.)

2 TUOTANTOSOLU

Projektissa käytetyn tuotantosolun osat ovat robotti, sorvi, jyrsin ja Keyence-mittalaite, jotka näkyvät kuvassa 1. Seuraavaksi esitellään osat keskittyen kuitenkin robottiin, jonka ohjelmointi oli tämän opinnäytetyön tavoite.



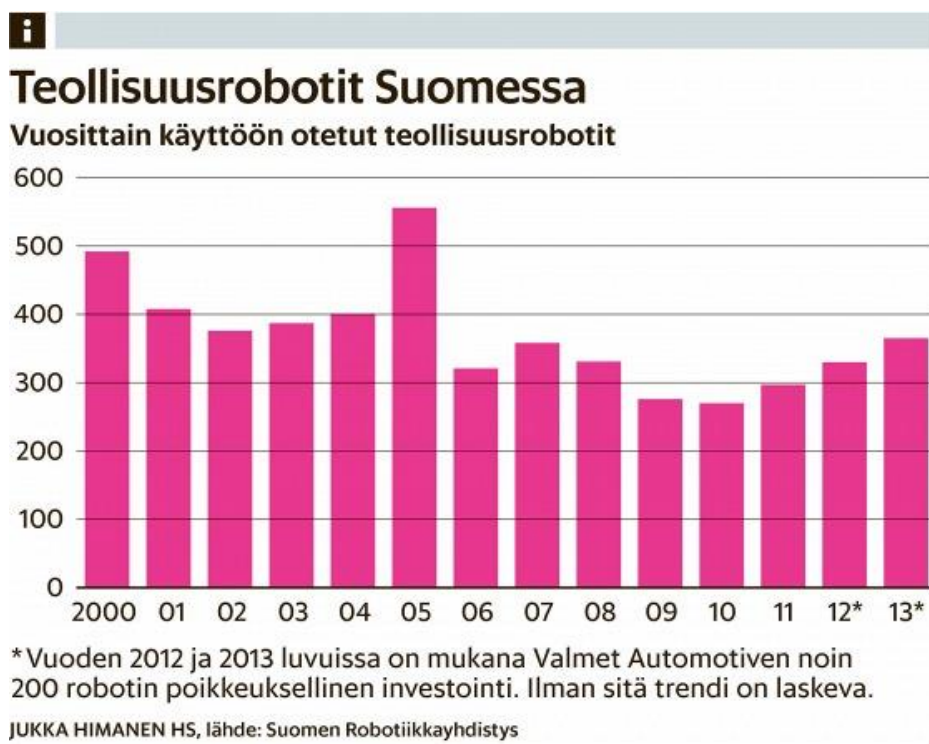
Kuva 1. Tuotantosolu.

2.1 Robotti

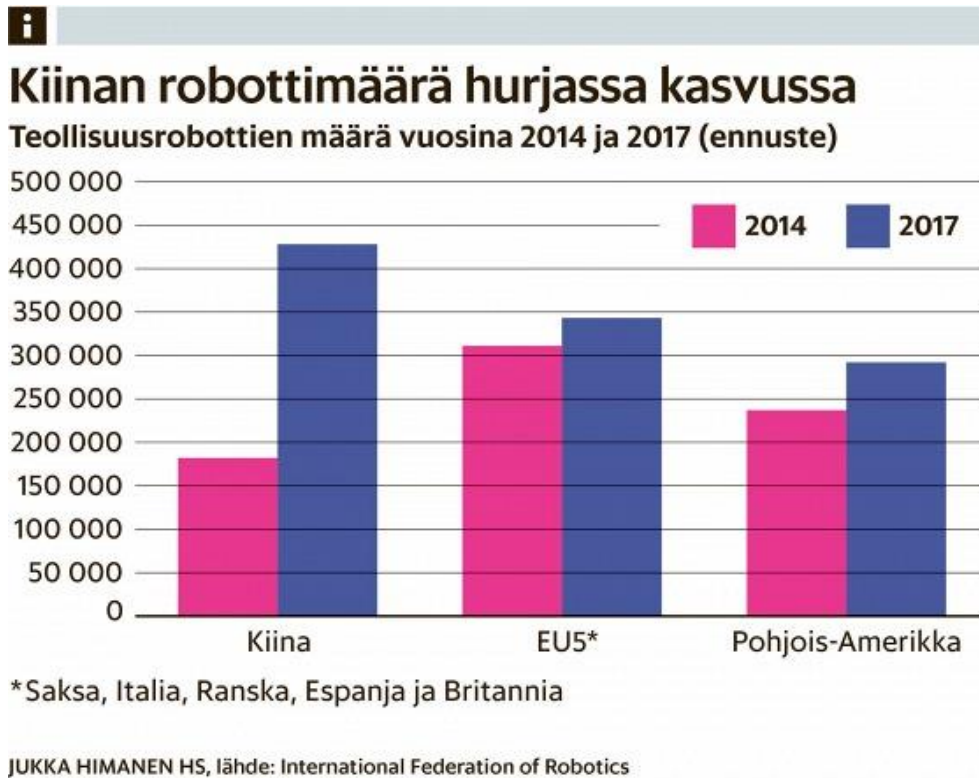
2.1.1 Robottien kehittyminen

Robottien kehittämiseen investoidaan vuosittain miljardeja euroja maailmanlaajuisesti. Robotteja pyritään kehittämään itsenäisempään suuntaan, jotta ne pystyisivät tekemään itsenäisesti johtopäätöksiä tulkitsemalla ja aistimalla toimintaympäristöään. Tulevaisuudessa robotteja ei mahdollisesti tarvitse ohjelmoida lainkaan, vaan pyritään siihen, että ne osaavat ohjelmoida itse itsensä. Robotteja pyritään myös liittämään toistensa kanssa yhä suurempaan verkkoon. Tällä tavoin robotit voisivat oppia toisiltaan verkon välityksellä samoin kuin ihmiset jakavat tietoaan esimerkiksi internetin välityksellä. (Kide 2014.)

Suomessa robottikanta on kääntynyt laskuun, mutta muualla maailmassa se jatkaa kasvuaan neljän prosentin vuosivauhtia. Valmet Automotive on tällä vuosikymmenellä ainoa kotimainen yritys, joka on tehnyt huomattavan investoinnin robotiikkaan Uudenkaupungin autotehtaalleen. Vuonna 2013 Uudenkaupungin autotehdasta lukuun ottamatta Suomessa investoitiin vain 240 robottia tuotantoautomaatioon, kuten kuvasta 2 voidaan todeta. Suomessa robotiikkaan liittyvien investointien väheneminen selittyy osittain maan heikolla taloustilanteella. Teollisuuden osuus bruttokansantuotteesta ei ole koskaan aiemmin ollut yhtä alhainen kuin tällä hetkellä. Lisäksi suomalaisilla on suuria ennakkoluuloja robotiikkaa kohtaan. Mahdollisesti robotiikan pelätään edelleen vähentävän työpaikkoja jo entisestään huonossa työllisyystilanteessa. Tosiasiassa robotit voisivat tulevaisuudessa luoda enemmän työpaikkoja kuin vähentää niitä. Lisäksi saateen jättää huomioimatta, että on myös monia työtehtäviä, joihin ihminen ei kykene tehtävän vaarallisuuden tai vaativuuden vuoksi. (Kide 2014.)




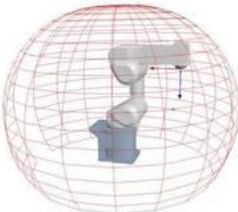

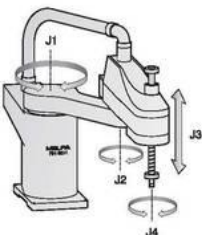
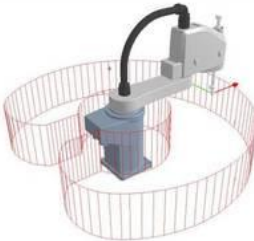

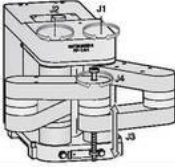





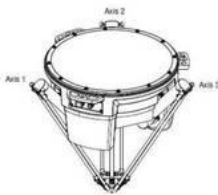
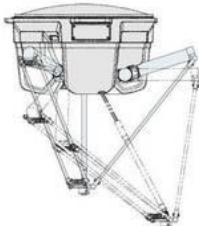

Kuva 2. Teollisuusrobotit Suomessa (Helsingin Sanomat 2015).



Kuva 3. Kiinan robottimäärä (Helsingin Sanomat 2015).

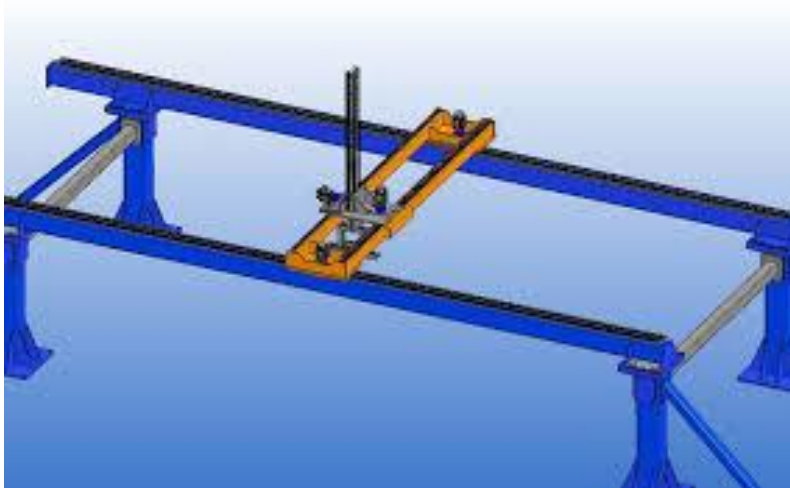
2.1.2 Erilaiset robottityypit

Yleisimmät robottityypit ovat kuvassa 4 näkyvät suorakulmainen robotti, sylinterirobotti, scara-robotti ja kiertyvänivelinen robotti (IFR 2015).

Principle	Kinematic Structure	Photo
Articulated Robot 		
SCARA Robot 		
SCARA Robot 		
Cartesian Robot 		
Parallel Robot 		

Kuva 4. Robottityypit (IFR 2015).

Suorakulmaisessa robotissa kolme ensimmäistä vapausastetta ovat lineaarisia. Tyypillisintä suorakulmaista robottia kutsutaan kuvan 5 esittämäksi portaalirobotiksi. Portaalirobotti toimii suoraviivaisilla liikkeillä tuettuna palkeilla jokaisesta nurkasta.



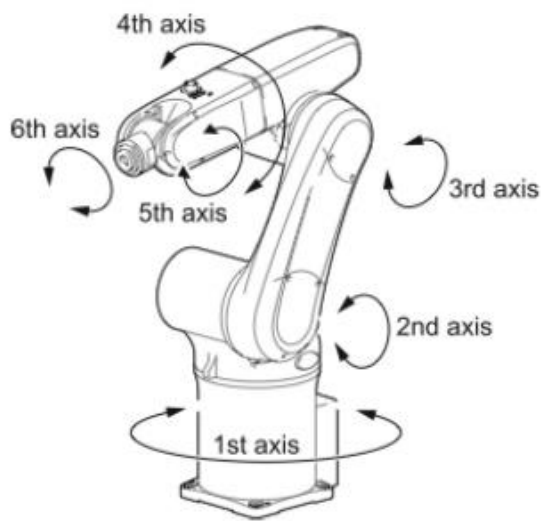
Kuva 5. Portaalirobotti (cartesian) (Tamiro 2015).

Scara-robotti on tiettyyn suuntaan joustava kokoonpanorobottikäsivarsi. Kolmella kiertyvällä nivelellä työkalu saadaan tietyllä tasolla oikeaan kohtaan. Neljäs lineaarinen pystyliike on työtason normaalin suuntainen. Kuvassa 6. esitetty Scara-robotti muistuttaa ihmisen käsivartta sillä erolla, että ranteeseen on asennettu pystyjohde. (Pitkälä 2008.)



Kuva 6. Scara-robotti (Omron 2015).

Kiertyvänivelinen robotti on yleisin teollisuudessa käytetty robottityyppi. Sitä voidaan kutsua myös nivelvarsirobotiksi. Kiertyvänivelinen robotti pystyy robottityypeistä parhaiten jäljittelemään ihmiskäden liikkeitä. Kiertyvänivelisillä roboteilla on kuusi vapausastetta joista ainakin kolme on kiertyviä, kuten kuvassa 7 esitetään. Kiertyvänivelisen robotin peräkkäin kytkettyjen tukivarsien ansiosta robotin työalue on suuri, mutta sen kantokyky on suhteellisen pieni. Tässä projektissa käytetty Fanuc-robotti on kiertyvänivelinen robotti.



Kuva 7. Kiertyvänivelinen robotti (articulated) (Meterforall 2015).

Kuvassa 8 esitetty rinnakkaisrakenteinen robotti kestää suuria voimia, kun kytetään joitain robotin vapausasteita rinnakkain. Suljetun kinemaattisen rakenteen ideana on jakaa tukivoimia toisiaan tukeville rakenteille, jolloin robotista tulee kestävä. Rinnakkaisrobotin keveys ja suuret voimat ovatkin robottityypin suurimmat edut. Kytkemällä mekaanisia vapausasteita yhteen eri tavalla ja muuttamalla vapausasteiden liikkeitä saadaan erilaisia robotteja.



Kuva 8. Rinnakkaisrakenteinen robotti (parallel) (lccRobotics 2015).

2.1.3 Robotin tekniset tiedot

Projektissa robottina käytettiin Fanuc R-2000iB/165F teollisuusrobottia R30iA-ohjauksella. Kyseisen robotin kappaleenkäsittelykyky on 165 kilogrammaa. Sillä on 2655 millimetrin kantama ja sen massa on 1170 kilogrammaa. Robotissa on kuusi akselia ja sen toistotarkkuus on +/- 0,2 millimetriä. (Fanuc 2009.)

Projektissa käytetty robotti on kytketty FMS-järjestelmään, jonka kautta robotti voi siirtää kappaleen automaattisesti työstökeskukselle. FMS-järjestelmän ansiosta solu pystyisi tuottamaan koneistettuja kappaleita täysin automaattisesti. Tässä projektissa oli kuitenkin tarkoitus lisätä raakakappaleet järjestelmään manuaalisesti, koska FMS-järjestelmä oli vikatilassa, joten sitä pystyi käyttämään ainoastaan käsiajolla. Robotti oli kiinnitetty lineaarikuljettimen päälle, joka näkyy kuvassa 2. Lineaarikuljetin ulottui solun päästä päähän, mikä lisäsi robotin ulottuvuutta huomattavasti. (Fanuc 2009.)



Kuva 9. Lineaarikuljetin

2.2 Sorvi

Projektin solussa käytetty sorvi oli Daewoo Puma MX2500 ST. Se on 9-akselinen monitoimisorvi, joka on varustettu vastakaralla. Sorvia ohjataan Fanucin 18i-TB -ohjaimella. Pääkaran moottorin teho on 26 kilowattia. Jyrsinkaran moottorin teho on 18,5 kilowattia. Työkaluja sorvissa on 40. Sen suurin sorvaushalkaisija on 540 millimetriä ja sorvauspituus 1020 millimetriä. Istukan halkaisija on 10 tuumaa. (Daewoo 2008, 18)

2.3 Jyrsin

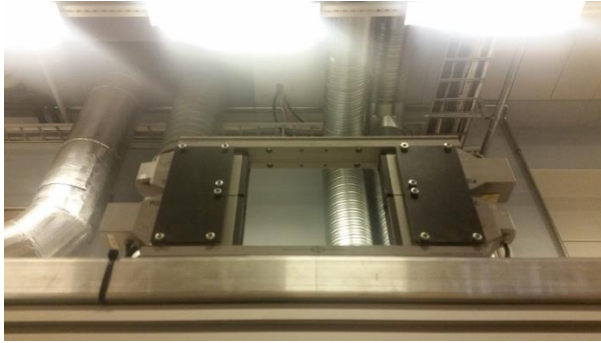
Deckel Maho DMC 60 T on kompakti yleisjyrsinkone, jonka 5-akselisessa koneistuskeskuksessa on 30-paikkainen työkalumakasiini. Ohjauksena on Heidenhain iTNC 53. Projektin solun jyrsin on Deckel Maho DMC 60 T -yleisjyrsinkone, jota ohjataan Heidenhain iTNC 530 -ohjaimella. Sen karanopeus on 18000 kierrosta minuutissa, ja paletin koko on 630x500 millimetriä. Sen tarkkuus on 0,001 millimetriä, ja sen työkalumakasiiniin mahtuu 30 työkalua. Maksimipaino paletilla on 400 kilogrammaa. (Deckel Maho 2008, 2)

2.4 Keyence-mittalaite

Robottisoluun integroidulla optisella mikrometrillä, joka näkyy kuvassa 10, Keyence LS-7030M voidaan mitata tarkasti pyörähdyskappaleiden ulkohalkaisijoita. Mittalaitteen toiminta perustuu led-teknologiaan, jossa lähetinyksikkö lähettää led-valon kollimaattorilinssin läpi, mistä se kohdistetaan vastaanottiin, jossa on lineaarinen CCD-kenno. Kun muodostunut valoverho katkeaa, CCD-kennon pikseleistä voidaan laskea varjon suuruus ohjainyksikön signaalinkäsittelypiirin avulla. (Keyence 2012, 2.)

Keyence LS-7030M on varustettu CMOS-kameralla, joka näyttää siluettikuvan led-lähteen ja vastaanottimen väliltä. Tämä helpottaa kappaleen kohdistamista ja helpottaa mittaustuloksen lukemista, kun mittaustulos voidaan lukea reaaliai-

kaisesti tulospäätöksi. Tässä kokoonpanossa oli liitetty kaksi mittalaitetta päällekkäin, jolloin pystytään mittaamaan kappaleita, joilla on suurempi halkaisija. (Keyence 2012, 2.)



Kuva 10. Keyence-mittalaite

Taulukko 1. Keyence LS-7030 tekniset tiedot (Keyence 2015).

Mittausalue	0,3 – 30 mm
Pienin tunnistettava kohde	0,3 mm
Lähettimen ja vastaanottimen etäisyys	160±40 mm
Mittauksen tarkkuus	±2,0 µm
Mittauksen toistuvuus	±0,15 µm
Näytteenottotaajuus	2400 mittausta/s

2.5 Solun turvallisuus

Valmistussolun turvallisuusnäkökohtia oli tarkasteltu useaan kertaan jo ennen tämän työn alkamista ja turvallisuus oli kohtuullisella tasolla. Johdot ja letkut oli suojattu asianmukaisesti, eikä solussa ollut paljoa ylimääräistä tavaraa. Eri laitteiden sijoittelu oli kohtuullinen. Sisähalkaisijan mittausta ja hiontapistettä olivat tämän työn kannalta tarpeettomia ja olivat vain esteenä robotin liikkumiseen, mutta tulevaisuuden sovelluksissa niitäkin saatetaan tarvita. Tuotantosolu oli ympäröity muoviseinillä, jotka estivät ihmisten kulkemisen soluun robotin ollessa käytössä. Muovi oli kuitenkin läpinäkyvää, minkä ansiosta robotin liikkeitä oli helppo seurata turvallisesta paikasta. Seinien välissä oli vain yksi ovi, ja siihen oli asennettu anturi, joka tunnisti, onko ovi auki vai kiinni. Jos oven aukaisi ohjelman ollessa automaattiasennossa robotti keskeytti ohjelman välittömästi.

Robotin turvallisuusnäkökohdat on huomioitu jo tehtaalla. Robotissa on törmäystunnistin, joka pysäyttää robotin heti, kun robotille tulee liikaa vastusta. Käden joutuminen sorvin sisälle ei ollut mahdollista, sillä ovet sulkeutuvat ohjelman alkaessa ja aukeavat ohjelman loputtua sekä sorvin pysähtyttyä. Ohjelmakiertoon ohjelmoitiin turvallisuutta edistäviä kohtia. Robotti esimerkiksi havaitsee, onko robotissa kiinni oleva työkalu oikeanlainen. Ohjelma myös tarkistaa, että kaikki ovet ovat kiinni ja robotti oikeassa asennossa, kun kappaleen työstäminen aloitetaan. Nämä toimenpiteet olivat riittävät varmistamaan, ettei ihminen päässyt solun sisälle solun ollessa toiminnassa.

3 TYÖSELOSTUS

Työselosteessa kerrotaan projektin etenemisestä ja eri työvaiheista. Projektin alussa piti perehtyä robotin ohjelmoinnin peruskomentoihin ja robotin erilaisiin liikkeisiin. Perusasioiden harjoittelun jälkeen aloitettiin lopullisen ohjelman tekeminen. Ohjelma päätettiin tehdä osiaina, jolloin ohjelmaan oli helpompi tehdä muokkauksia muuttamatta koko ohjelmaa. Suurimmat haasteet ohjelmoidessa oli saada softfloat-profiili toimimaan sekä saada robotti ja sorvi keskustelemaan keskenään. Loput ohjelmoinnista oli paikkapisteiden kohdalleen asettamista. Ohjelman alussa tehtiin rekisteripisteiden nollaukset sekä määritettiin muutamia asetuksia kuten raaka-aihioiden määrä. Projektin loppuvaiheessa osallistuttiin myös robotin tarttujan leukojen suunnitteluun.

3.1 Alustavat toimenpiteet

Projektiä aloittaessa muutama ensimmäinen päivä kului robottiin perehtyessä ja alkuasetuksien etsimisessä. Ensimmäisen viikon aikana saatiin tehtyä ensimmäinen ohjelmaosio, jossa tehtiin robotilla muutamia perusliikkeitä ja harjoiteltiin robotin leukojen aukaisemista sekä sulkemista. Robotin käytön harjoitteluun ja erilaisten ohjelmaratojen tekemiseen oli runsaasti aikaa, koska muunmuassa työhön vaadittavia rc-auton vanteille sopivia robotin tarttujia ja paletteja ei vielä ollut valmistettu eikä niiden valmistaminen kuulunut tähän opinnäytetyöhön.

Ensimmäisenä tehtiin yksinkertainen ohjelma, jossa robotti haki raaka-aihion paletilta ja palasi sitten kotiasemaansa. Tässä tuli harjoiteltua, miten robotti tarttuu kappaleisiin ja erilaisten liikeratojen hyötyjä. Ensin ajettiin robotti joint-liikkeellä kappaleen yläpuolelle, minkä jälkeen käytettiin lineaarista liikettä kappaleen lähestymiseen. Lineaarisessa liikkeessä robotti liikkuu suoraan halutun koordinaatiojärjestelmän mukaisesti. Tämä on tärkeää, jotta robotti ei missään olosuhteissa yrittäisi oikaista minkään läpi, kun ohjelmaa ajettaisiin automaattisesti.

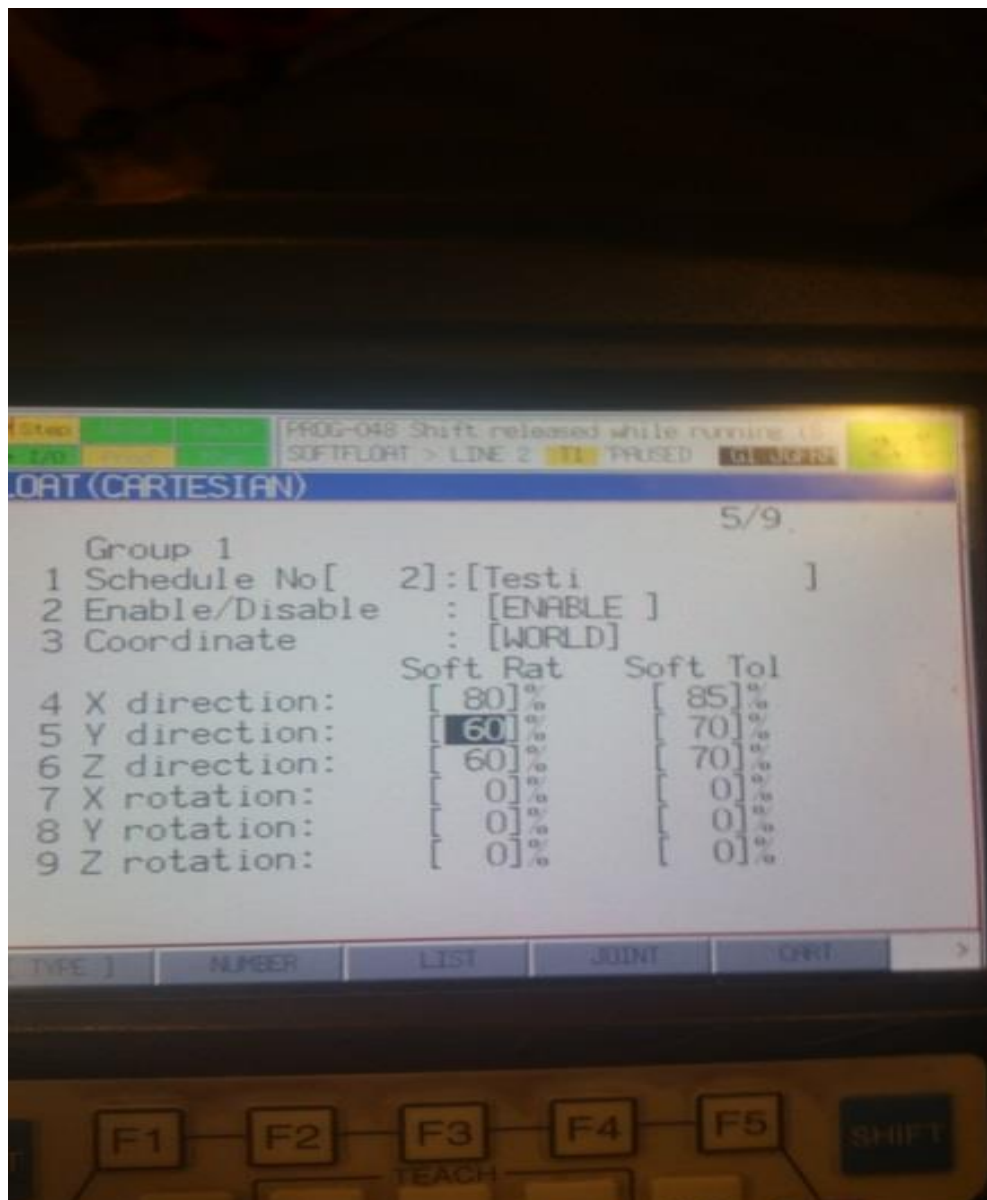
Ohjelmaa suunnitellessa oli tärkeää, että kappale saataisiin robotin tarttujan pohjaan saakka, jotta kappale olisi tarttujassa aina samassa asennossa, vaikka kappaleessa olisikin pieniä pituuseroja. Kyseisellä robotilla oli tähän käytetty aiemmin menetelmää, jossa robotti kääntää kappaleen ylösalaisin, aukaisee ja sulkee tarttujan ja kääntää sitten kappaleen takaisin alaspäin. Tämä ei vaikuttanut kovinkaan optimaaliselta ratkaisulta, koska kääntämisessä ja leukojen avaamisessa kului ylimääräistä aikaa.

Normaalisti robotti menee turvallisuussyistä heti vikatilaan ajaessaan jotakin päin. Tässä robotissa on softfloat-toiminto, joka sallii robotin ajaa kappaletta päin tietyllä voimalla. Softfloat-profiili näkyy kuvassa 9. Tällä toiminnolla saisi kappaleen heti tarttumisvaiheessa tarttujan pohjaan ilman tarpeettomia kääntelyitä. Tätä toimintoa ei ollut ennen käytetty, joten toiminnon harjoittelu vei paljon aikaa. Haasteellisuutta lisäsi se, että materiaalina tulitaisiin käyttämään alumiinia, joka on suhteellisen pehmeä materiaali. Tästä syystä robotti ei saisi ajaa liian kovalla vauhdilla raakakappaletta päin, jotta kappale ei vaurioitu. Toiminnon käyttäminen oli haastavaa, koska robotti ei osaa kertoa, millä voimalla se ajaa kappaletta päin. Se kertoo vain prosenttilukuina, kuinka paljon se mihinkin suuntaan joustaa.

Pumppukärryn vaa'an avulla testattiin, miten prosenttilukujen muuttaminen vaikuttaisi robotin työntövoimaan. Pumppukärryn päälle laitettiin puulava, jonka jälkeen ajettiin robotin tarttuja lavan yläpuolelle. Seuraavaksi määritettiin piste, joka meni lavan läpi. Ilman softfloat-toimintoa robotti ajaisi lavaa päin ja menisi vikatilaan, mutta softfloat-toiminto sallii ajaa lavaa päin. Kun robotti on ajanut lavaa päin riittävän lujaa softfloatin ollessa päällä, se luulee olevansa sille määritellyssä pisteessä, vaikka todellisuudessa matkaa on jäljellä useita senttimetrejä.

Ensimmäisellä kokeilulla vaaka näytti lukemaa 260 kilogrammaa, joka oli aivan liikaa alumiinille, joten prosenttilukuja alettiin säätää pienemmäksi. Robotin käyttötarkoitukseen riittäisi noin 50 kilogramman työntövoima. Lopulta saatiin vaaka näyttämään vähän alle 100 kilogrammaa. Tämän alhaisempaan lukemaan ei kuitenkaan päästy, koska robotti meni vikatilaan ennen kuin oli edes

ajanut lavaa päin. Luultavasti robotin oma massa tai maan vetovoima vaikuttaa sillä tavalla, että akseleihin kohdistuu jo ennen törmäystä liian paljon joustoa. Sadan kilogramman voima ei kuitenkaan vaurioita alumiinia, joten päätettiin tyytyä tähän lukemaan. Lukema oli sellainen, jolla kappale asettui tiukasti tarttujan pohjaan, mutta ei kuitenkaan vaurioittanut puuta, joka on alumiinia pehmeämpi materiaali eli tällä voimalla tarttuja pystyi tarttumaan alumiiniin vahingoittamatta sitä.



Kuva 11. Softfloat-profiili

Tämän kokeilun jälkeen tiedettiin, että voidaan käyttää samaa softfloat-profiilia aina, kun haluttiin ajaa jotakin päin z-akselin suunnassa eli ylös- tai alaspäin. Jotta voitiin esimerkiksi ajaa sorvin pakkaan, jouduttiin määrittelemään uusi profiili, koska pakka on vaakasuunnassa. Voitiin kuitenkin olettaa, että voima pysyisi suurin piirtein vakiona, kun muutettaisiin z-akselin suunnan arvot x-akselin tai y-akselin suunnan kohdalle. Tätä ei kuitenkaan päästy kokeilemaan, koska pumppukärryn asettaminen vaakasuoraan olisi ollut liian haasteellista.

3.2 Ohjelma

Suunniteltu softa sisältää ohjelman alustuksen, kappaleiden haun, sorville vien- nin sekä haun, ulkohalkaisijan mittauksen sekä valmiin kappaleen lavalle vien- nin, jotka esitellään seuraavaksi yksityiskohtaisemmin.

3.2.1 Ohjelman alustus

Ohjelman alussa ajettiin aliohjelma, jossa robotti tarkasti, onko siinä kiinni oleva tarttuja oikeanlainen. Jos tarttuja olisi vääränlainen, robotti kävisi itse kiinnittä- mässä oikeanlaisen tarttujan ja palaisi sitten kotipisteeseen. Ohjelman alussa myös alustettiin kaikki rekisteripisteet. Tämän jälkeen määritettiin aihioden maksimilukumäärä ja valmiiden kappaleiden maksimimäärä sekä lavalla tapah- tuvien siirtojen pituus millimetreinä. Näin välttyttiin mahdollisilta ongelmilta, jos lavan kokoa tai kappaleiden kokoa haluttaisiin muuttaa.

3.2.2 Kappaleiden haku

Aihiokappaleiden noutamisen ohjelmointiin oli muutama erilainen lähestymistä- pa. Projektissa aihioden halkaisija oli sen verran suuri, ettei aihiolavalle mahtui- si kovin montaa kappaletta kerrallaan, joten olisi ollut mahdollista tehdä jokaisel- le aihiolle oma lähestymispiste. Tämä tapa olisi ollut kaikkein nopein, mutta oli järkevää tehdä ohjelma, joka oli kehityskelpoinen muihinkin käyttötarkoituksiin.

Päätettiin tehdä ohjelma, jonka toimivuus ei olisi riippuvainen aihioden määrästä tai muodosta.

Tämä onnistui siten, että tehtiin ensimmäisen aihion yläpuolelle rekisteripiste eli niin sanottu offset-piste. Tämän rekisteripisteen arvoihin lisättiin rekisteriarvo, tässä tapauksessa 200 millimetriä, joka määräytyi aihiolavan matriisin mitasta. Kyseinen arvo lisättiin jokaisen kappaleen jälkeen offset-pisteeseen. Tämän ansiosta robotin tarttuja osasi siirtyä jokaisen aihion haun jälkeen 200 millimetriä x-akselin suuntaan. Kun robotti oli noutanut yhdeltä riviltä kaikki aihiot, tässä tapauksessa neljä ahiota, se piti saada siirtymään 200 millimetriä y-akselin suunnassa. Tämän lisäksi offset-piste piti myös nollata x-akselin suunnassa, jotta robotti osaisi siirtyä toisen rivin ensimmäiseen paikkaan. Muussa tapauksessa robotti siirtyisi ulos lavalta.

Edellä esitetyllä menetelmällä ohjelma toimii, vaikka kappaleiden määrä tai koko muuttuisi. Tällöin pitäisi vain muuttaa offset-pisteeseen tehtävän muutoksen määrä ja määrittää aihiolavan koko x-akselin sekä y-akselin suunnassa. Nämä arvot määritellään ohjelman alussa, ja ne on erittäin helppo muuttaa. Tällä tavoin tehdystä ohjelmasta tuli hyvin kehityskelpoinen ja monikäyttöinen.

```

1: IF R[120:KERTAAYSUUNTA2]>=R[52:Kp] Y],JMP LBL[2] ;
2: IF R[12: Valmismaara]=0,JMP LBL[3] ;
3: ;
4: PR[2,2: Jatto]=PR[2,2: Jatto]+R[55: Y Siirto] ;
5: ;
6: JMP LBL[3] ;
7: ;
8: ;
9: ;
10: LBL[2] ;
11: PR[2,2: Jatto]=0 ;
12: PR[2,1: Jatto]=PR[2,1: Jatto]+R[55: Y Siirto] ;
13: R[121:KERTAAXSUUNTA2]=R[121:KERTAAXSUUNTA2]+1 ;
14: R[120:KERTAAYSUUNTA2]=0 ;
15: LBL[3] ;
16: ;
17: ;
18: ;
19: ;
20: ;
21: ;
22: ;
/POS
/END

```

Kuva 12. Kappaleiden hakuohjelma

Aihiolavalle piti myös valmistaa matriisi, jotta aihiot olisivat aina samalla paikalla, kun robotti niitä tulee noutamaan. Tässä vaiheessa robotin tarttujan leukoja ei vielä ollut ehditty koneistaa, joten matriisin suunnittelu piti ottaa varman päälle. Periaatteessa kappaleita olisi mahtunut lavalle viisi leveyssuuntaan ja seitsemän pituussuuntaan. Robotin leuat olisivat kuitenkin olleet pahimmassa tapauksessa liian leveät, joten päätettiin suunnitella matriisista 4x6-mallinen. Parillinen määrä aihioita oli myös helpompi asetelma ohjelmoinnin kannalta. Matriisista piirrettiin Solidworks-ohjelmalla malli, ja Koneteknologiakeskuksen työntekijät valmistivat matriisin laserleikkaajalla ohuesta metallilevystä.

3.2.3 Sorville vienti ja sorvilta haku

Kappaleen sorville vientiä ja sieltä hakua ohjelmoidessa oli huomioitava, että robotti pyrkii aina siirtymään pisteestä toiseen mahdollisimman lyhyttä reittiä, mikä aiheuttaa helposti törmäysriskin. Vaikka ohjelmointivaiheessa robotilla näyttäisi olevan hyvin tilaa siirtyä pisteestä toiseen, se saattaa automaattitilassa käyttää täysin erilaista reittiä kuin käyttäjä oli tarkoittanut. Tästä syystä ohjelman eri osioille oli hyvä tehdä niin sanotut kotipisteet, joiden kautta robotti aina kiertää ennen seuraavaan osioon siirtymistä. Tätä silmällä pitäen päätettiin tehdä kolme kotipistettä: yksi aihion hakemiselle, toinen valmiin kappaleen viemiselle ja kolmas sorvin eteen.

Projektissa käytettävän solun kokoonpanossa robottia oli mahdollista liikuttaa kokonaisuutena x-akselin suunnassa lineaarikuljettimen kanssa. Tämän toiminnon avulla robotin sai aina sopivaan kohtaan solussa ja toiminto lisäsi robotin ulottuvuutta. Sorvin eteen tehdyssä kotipisteessä esimerkiksi vietiin robotti lineaarikuljettimen avulla suoraan linjaan sorvin eteen, minkä jälkeen sorvin sisällä toimiessa robotti oli koko ajan suorassa linjassa sorvin kanssa, mikä vähensi törmäysriskiä ja nopeutti liikkeitä.

Sorvin sisällä tapahtuvia liikkeitä ei ollut montaa, mutta kyseisen osion suunnittelussa kului aikaa robotin ja sorvin välisen kätteleminen selvittämiseen ja toimintaan saattamiseen. Robotin ja sorvin välille on määritelty muistipiste, jonka avulla sorvi ja robotti kommunikoivat. Kättely piti tehdä molempien ohjelmarivillä, minkä jälkeen robotin ohjelmalla voitiin ohjata sorvin toimintoja. Robotin ohjelmakirjastosta löydettiin vanhoja ohjelmia, joissa oli käytetty sorvin ja robotin välistä kättelyä. Näitä ohjelmia tutkimalla saatiin selvitettyä kaikki tarvittavat syötöt ja tulosteet. Robotin ohjelmalla piti saada sorvi tekemään seuraavat asiat: sorvin oven avaaminen ja sulkeminen, sorvin pakkojen avaaminen ja sulkeminen sekä kättely. Näitä syötteitä ja tulosteita käyttämällä saatiin tehtyä sellainen kokonaisuus ohjelmaan, ettei ole minkäänlaista törmäysriskiä tai riskiä tilanteesta, jossa sorvi esimerkiksi alkaisi suorittaa ohjelmaa, kun robotti on vielä sorvin

sisällä. Ohjelmassa käytettiin erilaisia wait-komentoja, jotta robotti odottaisi, kunnes sorvi olisi valmis ottamaan robotin vastaan.

Robotti tuli sorvin eteen tilanteessa, jossa toisessa tarttujassa oli kiinni aihio ja toinen tarttuja oli tyhjänä. Sorvin eteen siirtymisen jälkeen robotti jäi odottamaan sorvilta kättelyviestiä, joka tässä tapauksessa oli M20. Kättelykäsky oli määritetty sorvin ohjelmaan kohtaan, jossa kappale oli sorvattu valmiiksi ja ovi aukaistu. Kun sorvi oli antanut kättelyviestin, robotti siirtyi sorvin sisälle. Sorvin sisällä olevan pisteen pyrittiin määrittämään siten, että molempien tarttujien keskipiste olisi linjassa sorvin pakkojen keskipisteiden kanssa. Apuna käytettiin mittakelloa ja vatupassia. Pisteen määrittämisen jälkeen robottia ei tarvinnut liikuttaa missään muussa kuin x-akselin suunnassa, koska sorvin pakat ovat täysin linjassa keskenään.

Robotti siirtyi ensimmäisenä hakemaan valmiin kappaleen oikeanpuoliselta paikalta siten, että se siirtyi ensin kappaleen päälle ja laittoi leuat kiinni, minkä jälkeen robotin ohjelmasta annettiin käsky sorville avata oikean pakan leuat. Tähän oli pakko lisätä odotuskäsky, koska sorvin leuoilta oli vähennetty niin paljon painetta, että ne avautuivat suhteellisen hitaasti. Paineen laskeminen oli pakollista, koska valmistettavan vanteen paksuus oli niin pieni ja alumiini on niin heikkoa, että täydellä paineella sorvin leuat olisivat vääntäneet vanteen vääräksi.



Kuva 13. Robotti sorvilla

Kun valmis kappale oli tarttujassa kiinni, robotti siirtyi takaisin sorvin keskellä olevaan pisteeseen. Seuraavaksi se siirtyi jälleen x-akselin suunnassa vastakkaiseen pakkaan. Vasemmassa pakassa käytettiin jälleen softfloat-toimintoa, jotta aihion mahdolliset sahauksesta johtuvat mittavirheet saataisiin eliminoitua. Eli robotti siirtyi vasemman pakan lähelle, minkä jälkeen se alkoi painaa kappaletta pienellä voimalla pakkaa päin. Tällä tavalla aihio asettui suoraan pakan pohjaan, vaikka sahaus olisikin mennyt vähän vinoon. Seuraavaksi robotti antoi sorville käskyn sulkea vasemman pakan leuat ja avata robotin leuat, minkä jälkeen robotti siirtyi sorvin sisällä olevan keskipisteen kautta sorviosion kotipisteeseen ja käski sorvia sulkemaan oven. Robotti antoi tässä vaiheessa myös kättelykäskyn M20, josta sorvi sai tiedon, että se voi jatkaa sorvausohjelmaa.

3.2.4 Ulkohalkaisijan mittaus

Robotti ohjelmoitiin viemään valmis kappaleen ulkohalkaisijan mittaukseen Keyence-mittalaitteelle sillä aikaa, kun sorvi jatkoi ohjelmaansa. Tässä kohdassa robotin ohjelmoinnissa ei tarvinnut tehdä muuta kuin robotin liikkeet mittalaitteen sisälle ja antaa ohjelmassa käsky aloittaa aliohjelma, jossa suoritettaisiin mittaus.

Keyence-mittalaitteen määrittämisessä ilmeni kuitenkin ongelmia eikä tässä vaiheessa opinnäytetyötä ollut enää tarpeeksi aikaa perehtyä Keyencen toimintaan riittävästi. Yhdessä opinnäytetyön ohjaajan kanssa päätettiin jättää ulkohalkaisijan mittaus varsinaisesta ohjelmasta pois. Ohjelmaan tehtiin kuitenkin sellaiset ohjelmarivit, jotka suorittaisivat valmiin aliohjelman, kunhan aliohjelma saataisiin toimimaan. Tässä tapauksessa vain ohitettiin aliohjelman ajo. Mittalaite saatiin antamaan mittaustuloksen mittalaitteen paneeliin, josta se oli helppo lukea. Tätä tietoa ei kuitenkaan pystynyt automaattisesti hyödyntämään, koska ei ollut ohjelmaa, jolla mittavirheen tarkistus voitaisiin siirtää sorville. Näyttävyyden kannalta mittaus oli kuitenkin järkevää toteuttaa.

3.2.5 Valmiin kappaleen vienti lavalle

Robotti ohjelmoitiin mittauksen jälkeen siirtymään takaisin kotipisteeseen lavan eteen. Turvallisuuden vuoksi tehtiin välipisteen sorvin edessä olevan pisteen paikalle, jotta robotti ei lähtisi oikaisemaan ennalta-arvaamattomia reittejä pitkin. Tämän jälkeen kappaleen vienti lavalle oli lähinnä kopiointia kappaleen hakuohjelmasta. Lava oli samankokoinen ja kappaleita tulisi lavalle saman verran kuin aihiolavalla olisi aihioita. Piti ainoastaan muuttaa lähestymispisteet lavan pintaan ja lavausohjelmaan eri rekisteripisteet kuin hakuohjelmaan.

3.3 Robotin tarttujan leukojen suunnittelu ja valmistus

Robotin leukojen suunnittelu ja valmistus ei kuulunut tämän opinnäytetyön vastualueeseen, mutta suunnittelijan kanssa tehtiin yhteistyötä. Projektin alkaessa ei ollut tiedossa minkä kokoisista kappaleista vanteita tultaisiin valmistamaan, joten leukojen suunnittelu venyi projektin loppuvaiheille saakka. Leuat olisi ollut hyvä saada valmistettua alkuvaiheessa, jotta ohjelmaa olisi päässyt kokeilemaan oikeankokoisella tarttujalla.

Kun aihioden halkaisija ja valmiiden kappaleiden halkaisija oli tiedossa, leukoja alettiin suunnitella. Suunnittelun ja valmistuksen sai hoitaakseen Turun ammattikorkeakoulun opiskelija. Leuat piirrettiin tietokoneella Solidworks-ohjelmalla ja ne valmistettiin Koneteknologiakeskuksen jyrsimellä. Vähiin käyneestä ajasta johtuen leuoista päätettiin tehdä mahdollisimman yksinkertaiset. Tästä johtuen leuat jäivät turhan leveiksi eikä käytetty materiaali teräs ollut optimaalisin mahdollinen. Leuat olisi voinut tehdä halvemmasta ja kevyemmästä materiaalista. Esimerkiksi alumiinia olisi ollut helpompi koneistaa.

Robotin aihioleuoista päätettiin tehdä sellaiset, että ne ottivat kiinni aihion ulkopuolelta. Valmiin kappaleen leuoista sen sijaan tehtiin sellaiset, että ne ottivat kiinni kappaleen sisäpuolelta. Aihioleukojen koosta tuli kuitenkin ongelma sorvin sisällä, koska ne ottivat kiinni sorvin leukoihin, kun kappaletta vietiin sorviin. Tästä syystä aihioleuat jouduttiin koneistamaan uudelleen ja niihin tehtiin kevennys. Seuraava ongelma ilmeni valmiin kappaleen kiinnityksessä. Sekä robotin leuat että sorvin leuat puristivat valmista vannetta liian lujaa. Alumiini oli niin pehmeää ja vanteen paksuus niin pieni, että leukojen aiheuttama paine sai vanteen painumaan kasaan. Sekä robotin että sorvin leuat aukeavat ja kiinnittyvät paineilman avulla. Vanteen painuminen kasaan ratkaistiin pienentämällä sorvin ilmanpainetta. Robotin leuoissa ei tällaista vaihtoehtoa valmiina ollut, joten jouduttiin asentamaan paineenalennusventtiiliin, joka näkyy kuvassa 15, leukojen paluuletken väliin.



Kuva 14. Paineenalennusventtiili

4 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli automatisoida robottisolu. Projektin jälkeen solu toimi automaattisesti niin kauan kuin raaka-aihoita riitti lavalla. Tämän jälkeen raaka-aihoita piti käydä lisäämässä manuaalisesti, koska FMS-järjestelmää ei saatu toimimaan.

Tämän opinnäytetyön osuus projektista onnistui suunnitellulla tavalla tavoiteajassa. Robotti haki kappaleen aihiolavalta, vei sen koneistettavaksi sorviin, haki valmiin kappaleen sorvilta, kävi mittaamassa kappaleen Keyencella sekä vei valmiin kappaleen eli tässä tapauksessa koneistetun vanteen lavalle. Lisäksi ohjelmasta tehtiin sellainen, että siihen voi helposti lisätä esimerkiksi FMS-ohjelman aliohjelmaksi, jos tulevaisuudessa järjestelmä saadaan toimimaan. Myös mittaus jäi vajaaksi, mutta sitäkin voi tulevaisuudessa kehittää. Deckel-koneistuskeskus jäi myös tässä projektissa käyttämättä, koska tarvittavia komponentteja paletin viemiseksi koneistuskeskukselle ei saatu ajallaan. Koneistuskeskusta ei tässä projektissa onneksi tarvittukaan.

Koneteknologiakeskuksen 10-vuotis juhlapäivänä saatiin esiteltyä halutunlainen automatisointi ja valmis rc-auton vanne. Jos solussa halutaan tulevaisuudessa tehdä muunlaisia kappaleita, ohjelmaan on luultavasti tehtävä pieniä muutoksia. Tehty ohjelma toimii kuitenkin hyvänä pohjana solun kehittämiseksi. Sorvatusta kappaleesta tuli näyttävä, ja solun toiminnasta sai 10-vuotisjuhlassa hyvän käsityksen. Samanlaista automatisoitua solua ei monella työpaikalla ole.

Projekti oli mielenkiintoinen ja sopivan laajuinen. Aikataulu oli liian kireä siihen nähden, että solusta puuttui komponentteja, kun projekti aloitettiin. Ohjelmointi tuskin olisi ollut ongelma, jos jokainen yksittäinen toimilaite olisi projektin alkaessa toiminut.

LÄHTEET

Daewoo 2008. Daewoo Puma MX2500 ST –käyttöohje.

Deckel Maho 2008. Deckel Maho –käyttöohje.

Fanuc 2009. R-2000iB Series. Viitattu 26.05.2015
http://www.fanucrobotics.com/cmsmedia/datasheets/R-2000iB%20Series_29.pdf.

Helsingin Sanomat 24.5.2015.

IccRobotics 2015. Viitattu 26.05.2015. www.iccrobotics.com.

IFR 2015. Types of industrial robots. Viitattu 24.5.2015. <http://www.ifr.org/industrial-robots/products/>.

Keyence 2015. Viitattu 26.05.2015. <http://www.keyence.com/products/measure/micrometer/ls-7000/models/ls-7030/index.jsp>

Kide 2014. Robotiikka. Viitattu 24.5.2015. http://kide.metropolia.fi/?page_id=85#etusivu.

Keyence 2012. User's Manual LS-7000 Series.

Meterforall 2015. Viitattu 26.05.2015. <http://www.meterforall.com>.

Omron 2015. SCARA-robottisarja. Viitattu 26.5.2015.
https://industrial.omron.fi/fi/products/catalogue/motion_and_drives/robots/scara_robots/scara_robots/default.html.

Pitkälä, M 2008. Robotiikka. Viitattu 26.5.2015.
http://miniweb.lpt.fi/automaatio/opetus/luennot/pdf_tiedostot/robotiikka_yleinen.pdf.

Reunanen, T. 2011. Nollapistekiinnitysteknologioiden soveltaminen ja robotisoitu panostus – Panoste-projektin julkaisu 1/4.

Tamiro 2015. Kone- ja laitesuunnittelu. Viitattu 26.5.2015. <http://www.tamiro.fi/kone-ja-laitesuunnittelu>.

Kappaleen vienti sorville -ohjelma

```

103: !===== ;
104: ! vaihda kpl sorville ;
105: UTOOL_NUM=1 ;
106: UFRAME_NUM=4 ;
107: ;
108: ! Tarrain auki ja sorvin eteen ;
109: CALL GRIP1OFF ;
110: P[7: Ovi] 20% CNT20 ;
111: ;
112: ! Odota liikelupaa sorvilta ;
113: WAIT DI[242: M20 kuittaus]=ON ;
114: ;
115: DO[174: Sulje ovi]=OFF ;
116: DO[173: Aukaise ovi]=ON ;
117: WAIT DI[245: Ovi auki]=ON TIMEOUT,LBL[119] ;
118: LBL[119: Timeout] ;
119: IF DI[245: Ovi auki]=ON,JMP LBL[118] ;
120: ;
121: ! virhe ;
122: CALL ALERT(2,6,1) ;
123: WAIT DI[245: Ovi auki]=ON ;
124: ;
125: LBL[118: Signaali OK] ;
126: UTOOL_NUM=1 ;
127: UFRAME_NUM=4 ;
128: ;
129: ! Sorvin sisalle ;
130: L P[8: sisalla] 500mm/sec CNT20 ;
131: ! oikeaan pakkaan - apukaralle ;
132: L P[12:Pakka 2 lahesty] 200mm/sec CNT50 ;
133: L P[9: Pakka 2 kiinni] 100mm/sec FINE ;
134: ;
135: ! Kiinni kpl:seen ;
136: CALL GRIP1_ON ;
137: ;
138: ! Pyyda oikea pakka auki ;
139: DO[198: Sulje oikea pakka]=OFF ;
140: DO[197: Avaa oikea pakka]=ON ;
141: WAIT DI[269: oikea pakka auki]=ON TIMEOUT,LBL[129] ;
142: LBL[129: Timeout] ;
143: IF DI[269: Oikea pakka auki]=ON,JMP LBL[128] ;
144: ! virhe ;
145: CALL ALERT(2,6,1) ;
146: WAIT DI[269: oikea pakka auki]=ON ;
147: LBL[128: Signaali OK] ;
148: WAIT 2.00(sec) ;
149: ;
150: ! Irti oikeasta pakasta ;
151: L P[12:Pakka 2 lahesty] 200mm/sec FINE ;
152: ;
153: L P[8: sisalla] 250mm/sec CNT20 ;
154: DO[197: Avaa oikea pakka]=OFF ;
155: ;
156: ! Ulos sorvista ja ovi kiinni ;
157: L P[7: Ovi] 600mm/sec FINE ;
158: ;
159: DO[173: Aukaise ovi]=OFF ;
160: DO[174: Sulje ovi]=ON ;
161: WAIT DI[246: Ovi kiinni]=ON ;
162: DO[174: Sulje ovi]=OFF ;
163: ;
164: ! Lupa sorville jatkaa ;
165: DO[170: M20 kuittaus]=PULSE,1.0sec ;
166: ;
167: ;
168: ! Odota liikelupaa sorvilta ;
169: WAIT DI[242: M20 kuittaus]=ON ;
170: ;
171: ! Sorvi avaa oven ;
172: DO[174: Sulje ovi]=OFF ;
173: DO[173: Aukaise ovi]=ON ;
174: WAIT DI[245: Ovi auki]=ON TIMEOUT,LBL[120] ;
175: LBL[120: Timeout] ;
176: IF DI[245: Ovi auki]=ON,JMP LBL[121] ;
177: ! virhe ;
178: CALL ALERT(2,6,1) ;
179: WAIT DI[245: Ovi auki]=ON ;
180: ;
181: LBL[121] ;
182: ;
183: ! Aihion jatto sorvin ;

```

```

183: ! Aihion jatto sorvin ;
184: !vasempaan pakkaan - paakaralle ;
185: ;
186: UFRAME_NUM=3 ;
187: UTOOL_NUM=2 ;
188: ;
189: ! Sorvin sisalle ;
190:L P[5: sisalla] 400mm/sec CNT20 ;
191: ! Pyyda vasen pakka auki ;
192: DO[184: Sulje vasen pakka]=OFF ;
193: DO[183: Avaa vasen pakka]=ON ;
194: WAIT DI[255: Vasen pakka auki]=ON ;
195: WAIT 3.00(sec) ;
196: ;
197: ! Vasempaan pakkaan ;
198:L P[11: Lahesty] 200mm/sec CNT100 ;
199:L P[15] 200mm/sec CNT10 ;
200: SOFTFLOAT[3] ;
201: ;
202:L P[13:Kiinni] 60mm/sec CNT100 ;
203: ;
204: ;
205: ;
206: ! Pyyda vasen pakka kiinni ;
207: DO[183: Avaa vasen pakka]=OFF ;
208: DO[184: Sulje vasen pakka]=ON ;
209: WAIT DI[256: Vasen pakka kiinni]=ON TIMEOUT,LBL[159] ;
210: LBL[159: Timeout] ;
211: IF DI[256: vasen pakka kiinni]=ON,JMP LBL[158] ;
212: ! Virhe ;
213: CALL ALERT(3,6,1) ;
214: WAIT DI[256: vasen pakka kiinni]=ON ;
215: LBL[158: signaali OK] ;
216: WAIT 2.00(sec) ;
217: ;
218: ;
219: ;
220: SOFTFLOAT END ;
221: ! Tarraa auki ;
222: CALL GRIP2OFF ;
223: ;
224: ! Irti vasemmasta pakasta ;
225:L P[5: sisalla] 250mm/sec CNT20 ;
226: UFRAME_NUM=4 ;
227: UTOOL_NUM=1 ;
228: ;
229: ! Ulos sorvista ;
230:L P[7: ovi] 800mm/sec FINE ;
231: ;
232: DO[183: Avaa vasen pakka]=OFF ;
233: DO[184: Sulje vasen pakka]=OFF ;
234: ;
235: ! Aihio pakassa ;
236: ;
237: ! Sorvin ovi kiinni ;
238: DO[173: Aukaise ovi]=OFF ;
239: DO[174: Sulje ovi]=ON ;
240: WAIT DI[246: Ovi kiinni]=ON ;
241: DO[174: Sulje ovi]=OFF ;
242: ;
243: ! Lupa sorville jatkaa ;
244: DO[170: M20 kuittaus]=PULSE,1.0sec ;
245: WAIT .50(sec) ;
246: ;
247: ! kpl vaihdettu pakkaan ;
248: !===== ;|

```

Lavaus-ohjelma

```

250:J P[10:MITTAUSKOTI] 20% CNT100 ;
251:L P[14:MITTAUSLAHI] 200mm/sec CNT10 ;
252: ;
253: ;
254: ;
255:J P[10:MITTAUSKOTI] 20% CNT100 ;
256: ;
257:J P[7: ovi] 20% CNT100 ;
258: ;
259: ;
260: ! Laita valmis kpl paletille ;
261: ;
262: UFRAME_NUM=1 ;
263: UTOOL_NUM=1 ;
264: ;
265: ;
266: ! Sijoitetaan rekisteriin ;
267: ;
268: ;
269: ! Laske paikka ;
270: CALL HANNULAVAUS2 ;
271: ! OFFSET kayttoon ;
272: ;
273: ! valmis paletille ;
274:J P[4:KOTIOIK] 20% CNT100 ;
275: ;
276: ;
277:J P[24: Yla] 20% CNT10 Offset,PR[2: Jatto] ;
278:L P[25: Lahi] 200mm/sec FINE Offset,PR[2: Jatto] ;
279:L P[26: Jatto] 80mm/sec FINE Offset,PR[2: Jatto] ;
280: ;
281: ;
282: ! Tarrain auki ;
283: CALL GRIP1OFF ;
284: R[12: Valmismaara]=R[12: Valmismaara]+1 ;
285: ;
286: R[120:KERTAAYSUUNTA2]=R[120:KERTAAYSUUNTA2]+1 ;
287: ! Pois paletilta ;
288:L P[25: Lahi] 200mm/sec FINE Offset,PR[2: Jatto] ;
289:L P[24: Yla] 400mm/sec CNT100 Offset,PR[2: Jatto] ;
290: ;
291: ;
292:J P[4:KOTIOIK] 20% FINE ;
293: ;
294: ;
295: ;
296: IF R[11: Aihomaara]>0,JMP LBL[7] ;
297: ! valmis ;
298: JMP LBL[999] ;
299: ;
300: !===== ;
301: LBL[999: Loppu] ;
302: !===== ;

```